

REPUBLIK DEUTSCHLAND



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**



**Aktenzeichen:** 101 46 895.4  
**Anmeldetag:** 24. September 2001  
**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
80333 München/DE  
**Bezeichnung:** Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts  
**IPC:** G 01 M 7/08

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**



München, den 04. März 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Brosig

## Beschreibung

## Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts

- 5 Die Erfindung betrifft ein System zur Signalaufzeichnung und zur Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts nach einer mechanischen Impulsanregung.

10 Rückschlüsse auf die Qualität, die Funktionsfähigkeit oder den Zustand eines Fertigungsprozesses eines Produktes lassen sich in bestimmten Applikationen aus dem mechanischen Abklingverhalten eines Prüfobjekts ziehen, welches zuvor durch einen mechanischen Impuls angeregt wurde. Das mechanische Abklingverhalten wird im Folgenden auch als Klang  
15 bezeichnet.

Gegenwärtige Analysesysteme setzen auf komplexe Hard- und Software auf. Diese Systeme erfordern einen hohen Projektierungsaufwand. Dies widerspricht den Forderungen der  
20 Industrie nach einfach bedienbaren, kostengünstigen Lösungen für die Inbetriebsetzung und für den automatischen, problemlosen Dauerbetrieb.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Bewertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts nach einer Impulsanregung mit einem einfach aufgebauten System automatisch zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein System zur automatischen  
30 Signalaufzeichnung und zur Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts nach einer mechanischen Impulsanregung, mit  
- Kopplungsmitteln zur Kopplung mit Sensoren, welche zur Erfassung von Schwingungen des Prüfobjekts und zur Umwandlung der erfassten Schwingungen in analoge  
35 Schwingungssignale vorgesehen sind,  
- einer Verstärkereinheit zur Amplitudenanpassung der analogen Schwingungssignale,

- einer Tiefpassfiltereinheit zur Vermeidung von Aliasingeffekten,
  - Analog/Digital-Wandlern zur Umsetzung der analogen Schwingungssignale in digitale Daten und
  - 5 - einer Rechneinheit zur Schwingungsanalyse und zur Bewertung der digitalen Daten,
- wobei die Kopplungsmittel, die Verstärkereinheit, die Tiefpassfiltereinheit, der Analog/Digital-Wandler und die Rechneinheit in einer kompakten mobilen Einheit
- 10 hintereinandergeschaltet zusammengefasst sind.

Die Komponenten der kompakten mobilen Einheit führen die Signalaufzeichnung und die Auswertung der aufgezeichneten Signale durch. Auf der Rechneinheit können dafür speziell

15 für die Klanganalyse optimierte Algorithmen ablaufen. Die Verstärkereinheit gewährleistet eine optimale Anpassung des analogen Signalpegel an die darauf folgende Analog/Digital-Wandlung. Für eine ordnungsgemäße Analyse ist es unerlässlich, dass das Analogsignal vor der Analog/Digital-

20 Wandlung tiefpassgefiltert wird, um Aliasingeffekte zu vermeiden. Die von den Analog/Digital-Wandlern umgesetzten Daten werden direkt von der Rechneinheit analysiert und bewertet. Das erfindungsgemäße System zeichnet sich aus durch die Verschmelzung von Hardware, Software und Analysewissen

25 zur Klanganalyse in ein kompaktes, einfach bedienbares System.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die Sensoren in die kompakte mobile Einheit integriert. Dadurch

30 kann die kompakte mobile Einheit direkt ohne jegliche zusätzliche externe Hardware auf dem zu bewertenden Prüfobjekt angebracht werden. Das vorgeschlagene System wird noch unabhängiger von zusätzlichen externen Systemen, wenn digitale Ein- und Ausgänge zur Verbindung der Rechneinheit

35 mit einem Mechanismus zur mechanischen Impulsanregung des Prüfobjektes vorgesehen sind. Über diese Verbindung ist es der Rechneinheit möglich, den Mechanismus zu steuern und so

den kompletten Prüfvorgang von der Anregung bis zur Auswertung der Daten zu kontrollieren. Durch die Integration von Versorgungseinheiten zur Energieversorgung der Sensoren ist es möglich externe Sensoren an die kompakte mobile  
5 Einheit anzuschließen, ohne dass eine sonstige externe Versorgungseinheit erforderlich ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird eine Kommunikationsschnittstelle zur Verbindung der  
10 Rechneinheit mit einem externen Bedien- und Beobachtungssystem vorgesehen. Diese höherwertige Kommunikationsschnittstelle, welche z. B. auf einem Industriestandardbus beruht, ermöglicht die Kommunikation der Rechneinheit, insbesondere zu Projektierungs- und Monitoringzwecken, mit dem externen  
15 Bedien- und Beobachtungssystem. So kann über ein extern laufendes Parametrierungs-/Monitoringsystem auf die auf der Rechneinheit laufende Software zugegriffen und diese verändert und/oder optimiert werden.

Insbesondere für den Fall, dass der Mechanismus zur mechanischen Impulsanregung des Prüfobjekts von einem externen Automatisierungsgerät angesteuert wird, wird vorgeschlagen, dass die digitalen Ein- und Ausgänge zur Verbindung der  
20 Rechneinheit mit dem externen Automatisierungsgerät vorgesehen sind. Um direkt an der kompakten mobilen Einheit die Möglichkeit zu einfachen Einstellungen und zur Visualisierung zu haben, können in die kompakte mobile Einheit Bedien- und Beobachtungselemente integriert werden. Die Rechneinheit ist in einer weiteren Ausgestaltung der  
30 Erfindung als ein lernfähiges System ausgebildet. Die auf der Rechneinheit installierte Software beinhaltet sogenannte Lernverfahren, das sind z. B. Verfahren zum automatischen Generieren von markanten Merkmalen und zur Klassifikation.

35 Nachfolgend wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert.

Es zeigen:

5 FIG 1 eine schematische Darstellung eines Systems zur automatischen Signalaufzeichnung und zur Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts,

10 FIG 2 eine Ausgestaltung des Systems mit externem Sensor und Steuerung der Impulsanregung durch ein Automatisierungsgerät,

15 FIG 3 eine Ausgestaltung des Systems mit internem Sensor und Steuerung der Impulsanregung durch die interne Rechneinheit und

FIG 4 ein typisches Zeitsignal einer Schwingung nach einer Impulsanregung.

20 FIG 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Systems zur automatischen Signalaufzeichnung und zur Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts. Dargestellt ist eine kompakte mobile Einheit 1, welche über Kopplungsmittel 3 mit einem externen Sensor 13 verbunden ist. Des Weiteren enthält die kompakte Einheit 1 einen internen Sensor 2, eine Versorgungseinheit 4, eine Verstärkereinheit 5, eine Tiefpassfiltereinheit 6, einen Analog/Digital-Wandler 7, eine Rechneinheit 8, einen Speicher 9, eine Kommunikationsschnittstelle 10, digitale Ein- und Ausgänge 11 sowie Bedien- und Beobachtungselemente 12.

30

Über den externen Sensor 13 oder den internen Sensor 2 werden mechanische Schwingungen eines Prüfobjekts erfasst. Die Sensoren 2, 13 sind z. B. als Laservibrometer, als Geschwindigkeits- oder als Beschleunigungsaufnehmer  
35 ausgebildet. Die Sensoren 2, 13 werden von einer oder mehreren Versorgungseinheiten 4 mit Energie versorgt. Eine solche Versorgungseinheit 4 ist typischerweise eine

Stromversorgung (20 mA) oder eine Spannungsversorgung, abhängig von der Art des jeweils verwendeten Sensors 2, 13. Der externe Sensor 13 ist über eine Verbindungsleitung und Kopplungsmittel 3 mit der mobilen Einheit 1 verbunden, der interne Sensor 2 ist direkt in die Einheit 1 integriert. Das System kann je nach Ausgestaltung sowohl mit einem oder mehreren internen 2 und/oder externen 13 Sensoren arbeiten. Die Aufgabe der Sensoren 2, 13 ist die Umwandlung der erfassten mechanischen Schwingungen des Prüfobjekts in diesen Schwingungen proportionale elektrische analoge Signale. Die analogen Signale werden über die Versorgungseinheit 4 an eine oder mehrere Verstärkereinheiten 5 weitergegeben. Die Verstärkereinheiten 5 verstärken jeweils die Amplitude der analogen Signale so, dass sie für die weitere Bearbeitung, insbesondere für die Analog/Digital-Wandlung, optimiert ist. Die verstärkten analogen elektrischen Signale werden von der Verstärkereinheit 5 an die Tiefpassfiltereinheit 6 weitergeleitet. Die Tiefpassfiltereinheit 6 dient als sogenanntes Antialiasing-Filter bzw. Antialiasing-Tiefpass. Ein Antialiasing-Tiefpass begrenzt ein Spektrum eines zeit- und wertekontinuierlichen Signals auf eine bestimmte Bandbreite  $f_g$ . Dadurch ist sichergestellt, dass aus den bei der nachfolgenden Analog/Digital-Wandlung 7 im Abstand kleiner oder gleich  $(1/2) \cdot f_g$  entnommenen Abtastwerten das ursprüngliche Signal exakt rekonstruiert werden kann. Kann das ursprüngliche Signal nicht exakt rekonstruiert werden, da dessen Bandbreite im Hinblick auf die Analog/Digital-Wandlung zu groß ist, so treten leicht sogenannte Aliasingeffekte auf, z. B. in Form von Artefakt-Bildung und Verfälschungen des Frequenzspektrums. Die gefilterten analogen Signale werden vom Analog/Digital-Wandler 7 in digitale Daten umgesetzt. Diese digitalen Daten können dann von einer Rechneinheit 8 weiterverarbeitet werden. Die Rechneinheit 8 ist im Ausführungsbeispiel als Mikroprozessor ausgebildet. Auf dem Mikroprozessor ist Software geladen. Diese Software ist dadurch gekennzeichnet, dass sie ausführbare Programme beinhaltet, welche Verfahren ausführen, die speziell für die

Analyse von nicht stationären Signalen (Klängen) ausgelegt sind. Das sind beispielsweise Verfahren zur Flankenerkennung, zur Bestimmung der optimalen Aufnahmedauer, zur Resonanzfrequenzbestimmung, zur Bestimmung von Dämpfungskonstanten, zur Korrelationsberechnung von mehreren Schwingungseignissen, zur Anwendung von Normalisierungsfunktionen zur Eliminierung von Anregungsunterschieden, zur Filterung von markanten Frequenzen, zur Verhältnisbestimmung von Abklingkonstanten verschiedener Frequenzanteilen und/oder zur Ermittlung der Übertragungsfunktionsparameter aus der Korrelation zwischen Erregungssignal und Schwingungssignal. Die Rechneinheit 8 ist mit einem Speicher 9 verbunden. So ist es möglich im Speicher 9 Ergebnisse aus vorangegangenen Messungen bzw. Berechnungen zu hinterlegen. Diese Ergebnisse können zu weiteren Analysen - insbesondere zu einer Trendanalyse - herangezogen werden. Die Auswertung der digitalen Daten durch die Rechneinheit 8 enthält eine Schwingungsanalyse und eine Bewertung der digitalen Daten anhand der Ergebnisse der Schwingungsanalyse. Eine solche Auswertung kann mit unterschiedlichen Zielsetzungen durchgeführt werden und ist abhängig von der jeweiligen Ausgestaltung des Prüfobjekts. Das vorgeschlagene System kann z. B. eingesetzt werden zur Materialprüfung (Risserkennung in Dachziegeln, Schamottplatten, Gläsern, Gussteilen usw.), zur Dichtigkeitsprüfung von Behältern (z. B. Nahrungsmittelgläsern) oder zur Schichtdickenbestimmung (z. B. der abgeschiedenen Schicht in einem Desublimator).

FIG 2 zeigt eine Ausgestaltung des Systems mit externem Sensor 21 und Steuerung der Impulsanregung durch ein Automatisierungsgerät 14. Die kompakte mobile Einheit 1 ist in dieser Ausgestaltung als Klangsensor 20 ausgebildet. Der Klangsensor 20 weist eine Anschlussmöglichkeit 23 für einen externen Sensor 21, Bedien- und Beobachtungselemente 16, eine höherwertige Kommunikationsschnittstelle 19 sowie digitale Ein- und Ausgänge 18 auf. Andere im Klangsensor 20 enthaltene Komponenten - z. B. entsprechend den Komponenten der mobilen

Einheit 1 aus FIG 1 - sind hier nicht dargestellt. Der externe Sensor ist an einem Prüfobjekt 24 angebracht, welches von einem Mechanismus 15 mit einem mechanischen Impuls angeregt wird. Der Mechanismus 15 ist verbunden mit einem externen Automatisierungsgerät 14, welches über die digitalen Ein- und Ausgänge 18 mit dem Klangsensor 20 und einem externen Bedien- und Beobachtungssystem 17 verbunden ist. Das externe Bedien- und Beobachtungssystem 17 ist über die Kommunikationsschnittstelle 19 mit dem Klangsensor 20 verbunden.

In der Ausgestaltung des Systems entsprechend der Darstellung in FIG 2 wird ein Prüfobjekt 24 durch den Mechanismus 15 zu mechanischen Schwingungen angeregt. Solch ein Mechanismus 15 ist z. B. ein elektrisch, elektromagnetisch oder pneumatisch angetriebener Stößel. Der Mechanismus erhält Steuersignale vom Automatisierungsgerät 14. Der Klangsensor 20 vereint die Funktionen der Signalverarbeitung und der Auswertung des Abklingverhaltens des Prüfobjekts 24. Der Klangsensor 20 bildet eine kompakte, räumlich begrenzte Baueinheit, z. B. durch Einbau sämtlicher Komponenten in ein gemeinsames Gehäuse, welche dadurch mobil einsetzbar ist. Die Verbindungen zum externen Sensor 21, zum Automatisierungsgerät 14 und zum Bedien- und Beobachtungssystem 17 sind leicht auftrennbar ausgestaltet. Der Klangsensor 20 kann über das externe Bedien- und Beobachtungssystem 17 und/oder über in die Baueinheit des Klangsenors 20 integrierte Bedien- und Beobachtungselemente 12 bedient und beobachtet werden, wobei das Bedien- und Beobachtungssystem 17 auch für komplexe Bedienfunktionen, z. B. für den Eingriff in die Software des Klangsenors 20, vorgesehen ist, die integrierten Bedien- und Beobachtungselemente 12 hingegen eher für einfache Bedienhandlungen, etwa das Einstellen von Parametern. Über das externe Bedien- und Beobachtungssystem 17 kann auch das externe Automatisierungsgerät 14 bedient und beobachtet werden.



FIG 3 zeigt eine Ausgestaltung des Systems mit internem Sensor 16 und Steuerung der Impulsanregung durch die interne Rechneinheit. Gleichartige Komponenten in FIG 3 bzw. in FIG 2 sind mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet. Im Unterschied zur Ausgestaltung des Systems entsprechend FIG 2 enthält hier der Klangsensord 20 einen internen Sensor 22 und steuert hier der Klangsensord 20 bzw. die in diesem enthaltene Rechneinheit 8 die Impulsanregung des Prüfobjekts 24 mittels des Mechanismus 15.

Bei der Ausgestaltung entsprechend FIG 3 ist der Mechanismus 15 zur mechanischen Impulsanregung des Prüfobjekts 24 direkt an die digitalen Ein- und Ausgänge 18 des Klangsensors 20 angeschlossen. Außerdem kann der Klangsensord 20 durch die Integration des Sensors 22 in die Baueinheit des Klangsensors 20 direkt am Prüfobjekt 24 angebracht werden. Durch die kompakte handliche Ausführung des Klangsensors 20 kann dieser somit ganz nach Bedarf reversibel an verschiedenen Prüfobjekten 24 angebracht werden. Da insbesondere in der Ausgestaltung entsprechend FIG 3 sämtliche zur Klanganalyse erforderlichen Funktionen und Komponenten in der Baueinheit des Klangsensors 20 integriert vorhanden sind, kann der Klangsensord 20 zur autarken Prüfung von Prüfobjekten 24 genutzt werden, ohne dass weitere Geräte erforderlich sind. Die Ergebnisse der Auswertung können zeitnah durch angeschlossene Systeme wie z. B. Automatisierungsgeräte 14 und/oder Bedien- und Beobachtungssysteme 17 oder auch zu einem späteren Zeitpunkt durch Nutzung des Speichers 9 des Klangsensors 24 ausgelesen und weiterverwertet werden.

FIG 4 zeigt ein typisches Zeitsignal 25 einer mechanischen Schwingung eines Prüfobjekts 24 nach einer mechanischen Impulsanregung. Gegen die senkrechte Achse des dargestellten Diagramms sind die Amplitudenwerte des Zeitsignals 25, gegen die waagerechte Achse ist die Zeit aufgetragen. Bei den Amplitudenwerten handelt es sich bei diesem Beispiel um den skalierten Messwert der Beschleunigung. Das Prüfobjekt 24 ist

als Desublimator-Behälter ausgebildet. Man erkennt deutlich den Zeitpunkt der Impulsanregung, gekennzeichnet durch den unmittelbar folgenden starken Amplitudenanstieg des Zeitsignals 25. Da der Desublimator-Behälter hier nur mit einem einzelnen mechanischen Impuls angeregt wurde, nimmt die Einhüllende des Zeitsignals 25 der Schwingung nach Erreichen des Maximums kontinuierlich ab. Die Schwingung im Beispiel ist nach einer halben Sekunde fast vollständig abgeklungen. Dieses mechanische Abklingverhalten wird auch als Klang bezeichnet.

Zusammengefasst betrifft die Erfindung somit ein einfach aufgebautes System zur automatischen Signalaufzeichnung und zur Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts nach einer mechanischen Impulsanregung. Das System enthält Kopplungsmittel 3 zur Kopplung mit Sensoren 2, 13, welche zur Erfassung von Schwingungen des Prüfobjekts 24 und zur Umwandlung der erfassten Schwingungen in analoge Schwingungssignale vorgesehen sind, eine Verstärkereinheit 5 zur Amplitudenanpassung der analogen Schwingungssignale, eine Tiefpassfiltereinheit 6 zur Vermeidung von Aliasingeffekten, Analog/Digital-Wandler 7 zur Umsetzung der analogen Schwingungssignale in digitale Daten und eine Rechneinheit 8 zur Schwingungsanalyse und zur Bewertung der digitalen Daten, wobei die Kopplungsmittel 3, die Verstärkereinheit 5, die Tiefpassfiltereinheit 6, der Analog/Digital-Wandler 7 und die Rechneinheit 8 in einer kompakten mobilen Einheit 1 hintereinandergeschaltet zusammengefasst sind.

## Patentansprüche

1. System zur automatischen Signalaufzeichnung und zur Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts nach einer  
5 mechanischen Impulsanregung, mit

- Kopplungsmitteln (3) zur Kopplung mit Sensoren (2, 13), welche zur Erfassung von Schwingungen des Prüfobjekts (24) und zur Umwandlung der erfassten Schwingungen in analoge Schwingungssignale vorgesehen sind,

10 - einer Verstärkereinheit (5) zur Amplitudenanpassung der analogen Schwingungssignale,

- einer Tiefpassfiltereinheit (6) zur Vermeidung von Aliasingeffekten,

15 - Analog/Digital-Wandlern (7) zur Umsetzung der analogen Schwingungssignale in digitale Daten und

- einer Rechneinheit (8) zur Schwingungsanalyse und zur Bewertung der digitalen Daten,

wobei die Kopplungsmittel (3), die Verstärkereinheit (5), die Tiefpassfiltereinheit (6), der Analog/Digital-Wandler (7) und  
20 die Rechneinheit (8) in einer kompakten mobilen Einheit (1) hintereinandergeschaltet zusammengefasst sind.

2. System nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

5 dass die Sensoren (2) in die kompakte mobile Einheit (1) integriert sind.

3. System nach Anspruch 1 oder 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

30 dass digitale Ein- und Ausgänge (11) zur Verbindung der Rechneinheit (8) mit einem Mechanismus (15) zur mechanischen Impulsanregung des Prüfobjektes (24) vorgesehen sind.

4. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass Versorgungseinheiten (4) zur Energieversorgung der Sensoren (13) vorgesehen ist.

5. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Kommunikationsschnittstelle (10) zur Verbindung der  
5 Rechnereinheit (8) mit einem externen Bedien- und  
Beobachtungssystem (17) vorgesehen ist.

6. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
. 10 dass die digitalen Ein- und Ausgänge (11) zur Verbindung der  
Rechnereinheit (8) mit einem externen Automatisierungsgerät  
(14) vorgesehen sind.

7. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
15 dadurch gekennzeichnet,  
dass in die kompakte mobile Einheit (1) Bedien- und  
Beobachtungselemente (12) integriert sind.

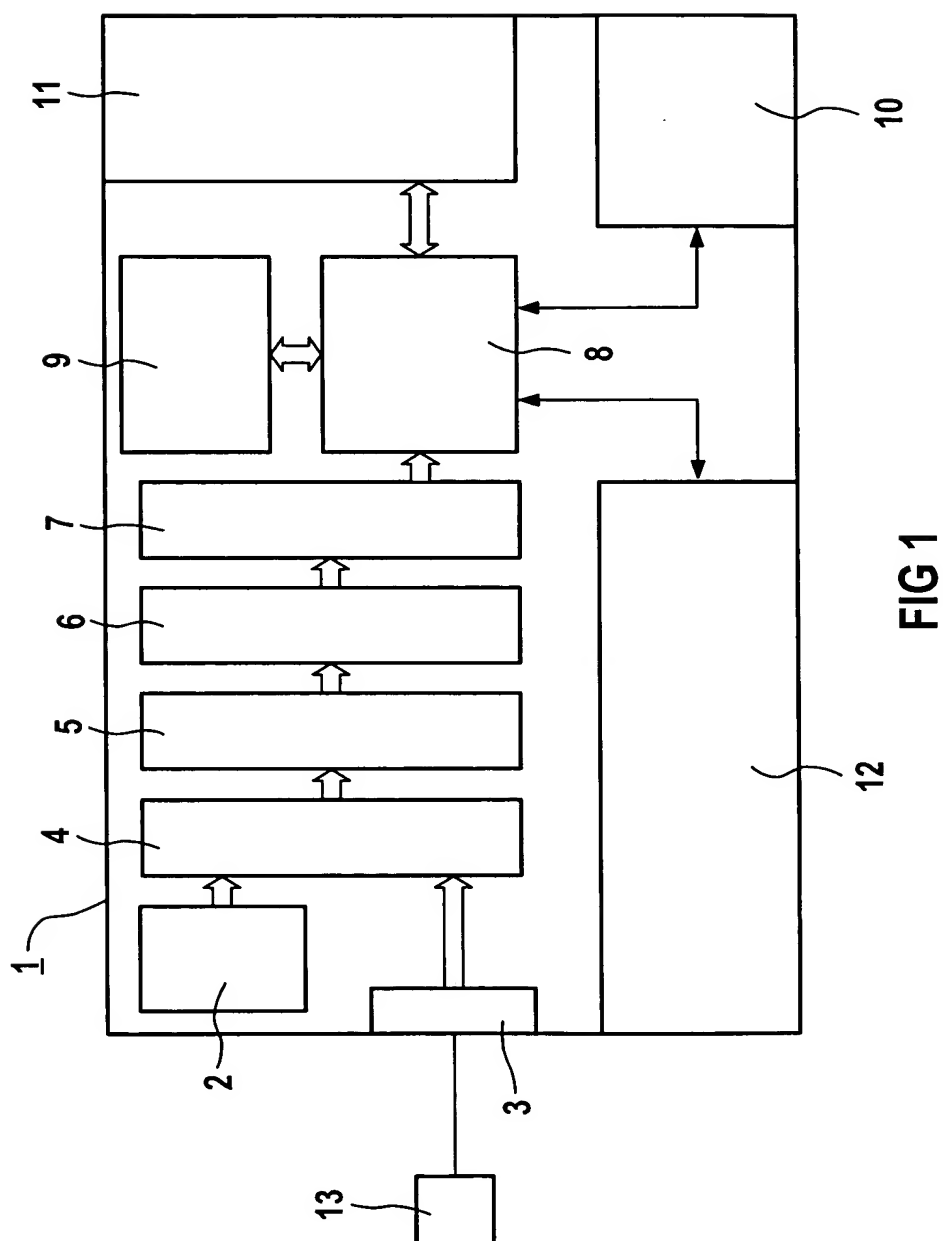
8. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
20 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Rechnereinheit (8) als ein lernfähiges System  
ausgebildet ist.

## Zusammenfassung

## Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts

- 5 Die Erfindung betrifft ein einfach aufgebautes System zur automatischen Signalaufzeichnung und zur Auswertung des Abklingverhaltens eines Prüfobjekts nach einer mechanischen Impulsanregung. Das System enthält Kopplungsmittel (3) zur Kopplung mit Sensoren (2, 13), welche zur Erfassung von
- 10 Schwingungen des Prüfobjekts (24) und zur Umwandlung der erfassten Schwingungen in analoge Schwingungssignale vorgesehen sind, eine Verstärkereinheit (5) zur Amplitudenanpassung der analogen Schwingungssignale, eine Tiefpassfiltereinheit (6) zur Vermeidung von
- 15 Aliasingeffekten, Analog/Digital-Wandler (7) zur Umsetzung der analogen Schwingungssignale in digitale Daten und eine Rechneinheit (8) zur Schwingungsanalyse und zur Bewertung der digitalen Daten, wobei die Kopplungsmittel (3), die Verstärkereinheit (5), die Tiefpassfiltereinheit (6), der
- 20 Analog/Digital-Wandler (7) und die Rechneinheit (8) in einer kompakten mobilen Einheit (1) hintereinandergeschaltet zusammengefasst sind.

FIG 1



2/3

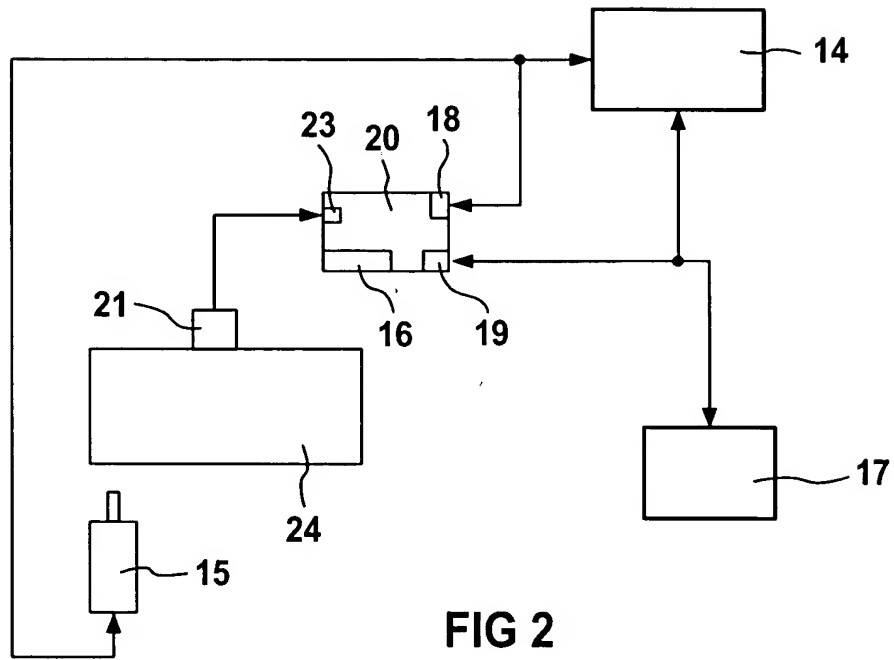


FIG 2

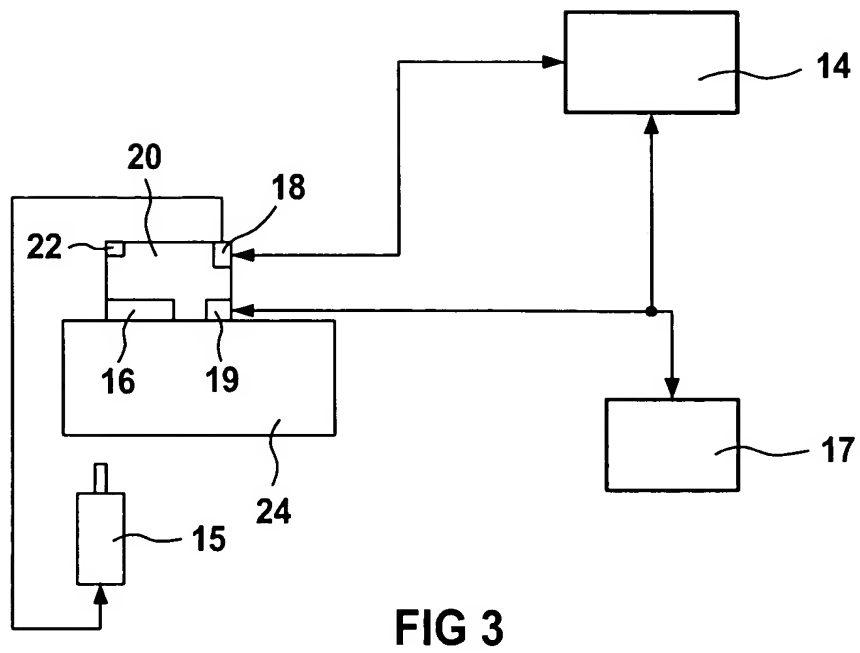


FIG 3

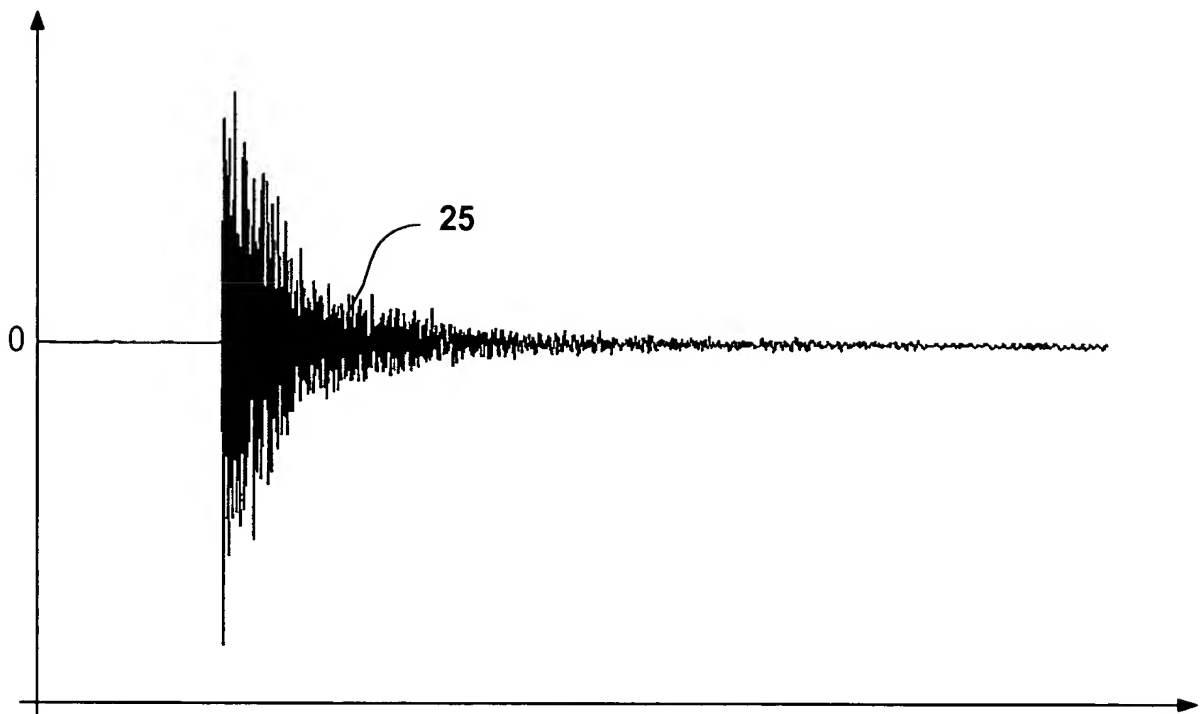


FIG 4